

## **EMISIVIDAD EN EL N.O.A. APROXIMACIÓN A UN MODELO FÍSICO**

**Erico Frigerio**

Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta

Tel. : (0387) 4255423

Email : frigerio@unsa.edu.ar

**RESUMEN:** Se buscó establecer un modelo de la emisividad de cielo para la zona, teniendo en cuenta los perfiles atmosféricos medidos en la estación Salta del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Para ello se trataron los datos disponibles que abarcan el periodo 1965-1984 de dos maneras: con una correlación de la emisividad en función de la temperatura de rocío encontrada para Salta y usando el código LOWTRAN-7, el cual realiza un balance radiativo en la atmósfera usando las medidas en altura. Se probaron distintos modelos de atmósfera y se los comparó con los resultados de la correlación, tomando a ésta como referencia. Se obtuvieron así modelos que tienen una diferencia extrema del  $\pm 4 \%$  con la correlación.

**Palabras clave:** Radiación, Atmósfera, Emisividad, Modelo.

### **INTRODUCCIÓN.**

En la búsqueda de recursos pasivos para refrescamiento y refrigeración la radiación nocturna, la radiación de cielo que no proviene del sol, es una alternativa de importancia.

Para el diseño de sistemas de enfriamiento radiante que hagan uso de este recurso, se requiere de una comprensión cuantitativa de él. Además de las aplicaciones en enfriamiento radiativo, un buen modelo de radiación de cielo es deseable para predecir adecuadamente pérdidas radiativas de cubiertas ó superficies expuestas.

Existen dos formas de caracterizar la radiación nocturna: a) mediante la obtención de una fórmula empírica en base a los datos meteorológicos de superficie, y b) mediante un modelo físico que permita realizar un balance radiativo en la atmósfera. Para esto se debe tener un conocimiento acabado de la estructura atmosférica del lugar. En ambos casos se debe tener en cuenta la compleja orografía del lugar, que contiene zonas bajas como el chaco salteño, zonas intermedias compuestas por valles a diferentes alturas y zonas altas como La Puna.

El primer caso se discute en un trabajo paralelo (Frigerio, 2000), donde el ajuste encontrado para Salta basándose en los datos medidos es:

$$\epsilon = 0,772 + 0,41.(t_r/100) + 0,51.(t_r/100)^2; \quad (1)$$

con un 4 % de error, denominándolo Correlación 2. También se compara ahí con la correlación dada por Martin y Berdahl (1984).

El segundo caso requiere tener datos precisos de los componentes atmosféricos (gases, aerosoles, agua, etc.). Existe un modelo muy elaborado de atmósfera realizado en los EEUU volcado en un código computacional bajo el nombre de LOWTRAN. Con él se puede calcular la radiancia y la emisividad de cielo, usando datos de globos-sonda o modelos propios de perfiles de temperatura y humedad en altura. Es posible, además, introducir perfiles medidos y combinarlos para los cálculos con estos modelos. Una descripción de él se dio en Frigerio y Saravia (1986). Esto permitiría inferir una estructura de atmósfera para el lugar.

### **DISPONIBILIDAD DE DATOS**

Con el objeto de estudiar el comportamiento de la emisividad en el curso del tiempo, se propuso tratar los datos que se disponen de globosondeo, conseguidos a través del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y medidos en la estación Salta, que abarcan el periodo junio/1965 – diciembre/1984. Estas medidas incluyen altura, temperatura, humedad relativa y temperatura de rocío a niveles fijos de presión dados por el estándar internacional de la Organización Mundial de Meteorología, y fueron relevados a las 0 hs. TMG (aproximadamente las 20 hs. local) y a las 12 hs. TMG (8 hs. local, aprox.). Desafortunadamente, esta serie de datos no está completa, existiendo varios años de falta de medida, especialmente a las 0 TMG. No existen tampoco datos de globosondeo en otras localidades de la región.

Por otra parte, no se dispone de medidas contemporáneas del SMN con medidas propias de emisividad. Para resolver esta dificultad, se ha usado las correlaciones obtenidas como base de comparación de todos los cálculos realizados con el código LOWTRAN.

Se posee en la actualidad la versión LOWTRAN-5 (Kneizys et al., 1980) y, adquirida posteriormente, la versión LOWTRAN-7 (Kneizys et al., 1988). La disparidad entre medidas y lo obtenido con LOWTRAN-5 era del orden del 20 %, por lo que se dejó de usar. La última versión ha introducido varias mejoras respecto a la anterior y ha permitido realizar el tratamiento de los datos disponibles.

Las diferencias observadas entre los resultados de ambos códigos se muestran en la figura 1, donde se dibujaron las emisividades calculadas sobre promedios mensuales para el período junio/65 a mayo/66. Para los cálculos con LOWTRAN se usó el modelo de aerosol “rural-23 km de visibilidad” en la capa límite (0-2 km), “invierno” o “verano” en la alta tropósfera (2-10 km) según correspondiera al mes en cuestión y “fondo estratosférico” más arriba. Se compararon los resultados con los obtenidos usando la correlación de Martin y Berdahl y la propia (Corr.2).

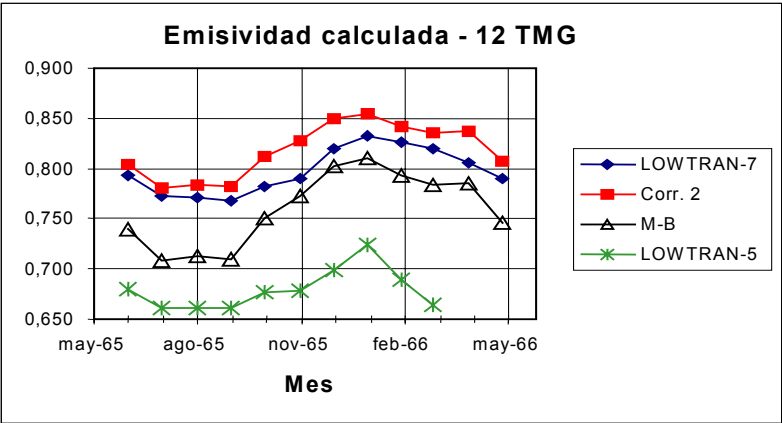


Figura 1: Comparación entre diferentes cálculos de emisividad.

**ALGUNAS PRUEBAS DE SENSIBILIDAD DEL CÓDIGO.**

Para conocer la respuesta del código a los distintos modelos de aerosol, se realizaron cálculos con perfiles de Salta extraídos del archivo del SMN. El resultado de esos cálculos se muestra en la tabla 1, donde se identificó con mid sum el modelo primavera-verano de latitud media para la alta tropósfera y 23 km / 5 km se refiere a la visibilidad.

Se puede apreciar aquí que la diferencia más grande está dada por la diferencia en visibilidad que entre los modelos rural y urbano. Además, de entre los modelos tratados, la combinación rural-tropical es el que menor emisividad predice, siguiéndole las combinaciones rurales-verano de latitud media e invierno de latitud media y finalmente las urbanas.

Archivo	30/5/66 – 12 hs TMG	
	Rad [W/m2]	Emisividad
<b>Rural:</b>		
tropical-23 km	268,1	0,731
mid sum -23km	269,4	0,734
mid win -23km	269,6	0,735
tropical-5 km	273,8	0,746
mid sum -5km	274,5	0,748
mid win -5km	274,7	0,748
<b>Urbano:</b>		
tropical	276,1	0,752
mid sum -5km	276,8	0,754
mid win -5km	276,9	0,755

TABLA 1: Cálculo con distintas situaciones de aerosol.

También se probó la respuesta del LOWTRAN a cambios en el perfil de datos introducido. Para ello se varió artificialmente en 5 % la humedad relativa manteniendo los otros parámetros fijos. Igualmente se procedió con la temperatura, la temperatura y la humedad relativa al mismo tiempo y los niveles 2 a 6 de presión.(Tabla 2).

Los resultados muestran que el cálculo es más sensible a las variaciones de temperatura que a la de los otros parámetros. De todas formas, las variaciones siempre se mantuvieron dentro de un 2 % para la variación de todos los parámetros a la vez, por lo que un error del 5 % en la entrada de datos no modificaría sustancialmente los resultados.

Archivo:	8/7/75 -12 hs TMG		9/7/75-12 hs TMG	
Tratamiento	Emisividad calculada:	Diferencia %:	Emisividad calculada:	Diferencia %:
Normal:	0,797	0	0,846	0
+5 % HR	0,802	0,5	0,852	0,7
-5 % HR	0,793	-0,5	0,84	-0,7
+5 % temp.	0,804	0,8	0,853	0,8
-5 % temp.	0,792	-0,7	0,839	-0,8
+5 % t. y HR	0,808	1,3	0,859	1,5
-5 % t. y HR	0,788	-1,2	0,833	-1,5
+5 % niv. alt. 2 a 6	0,801	0,5		
-5 % niv. alt. 2 a 6	0,795	-0,3		

**TABLA 2:** Respuesta del LOWTRAN a cambios de un 5 % en los perfiles.

### ESTUDIO DE LOS PERFILES PROMEDIO MENSUALES.

Un primer estudio presentado usando perfiles de días claros (Frigerio, 1997) mostró que la diferencia entre los cálculos obtenidos usando LOWTRAN y el ajuste sobre datos medidos variaba entre un 1 % para los días correspondientes a los meses de julio y octubre y un 5 % para los de abril. Esta diferencia posibilitó el uso del código para hacer un tratamiento efectivo de los datos que se poseen.

En lugar de continuar buscando en la base de datos del SMN días claros, algo que consume mucho tiempo, se ha preferido crear nuevas bases de datos con los promedios mensuales año por año y el promedio mensual de todos los datos disponibles para tratarlos con LOWTRAN-7. En cada uno de ellos, además del promedio mensual, se ha hallado la desviación media cuadrática y el número de datos para cada nivel. Se han tratado especialmente los datos correspondientes a las 12 TMG del período jun/65 – dic/84 porque éste está casi completo, faltando sólo algunas medidas.

### RESULTADO DEL TRATAMIENTO ANUAL DE LOS PERFILES PROMEDIO MENSUALES.

No habiendo observado ninguna peculiaridad en los perfiles promedio mensuales, se realizaron los cálculos de radiación y emisividad con el código LOWTRAN-7 y se compararon con los resultados que se obtienen aplicando las correlación 2 y la de Martin y Berdahl. Esta última difiere mucho de lo obtenido con los otros cálculos (entre 7 y 8%).

La figura 2 muestra un resumen de los cálculos hechos con el código, usando el modelo rural con 23 km de visibilidad en la capa límite, y el ajuste para todo el período. Los puntos faltantes corresponden a los meses donde no hubo medidas, doce en total.

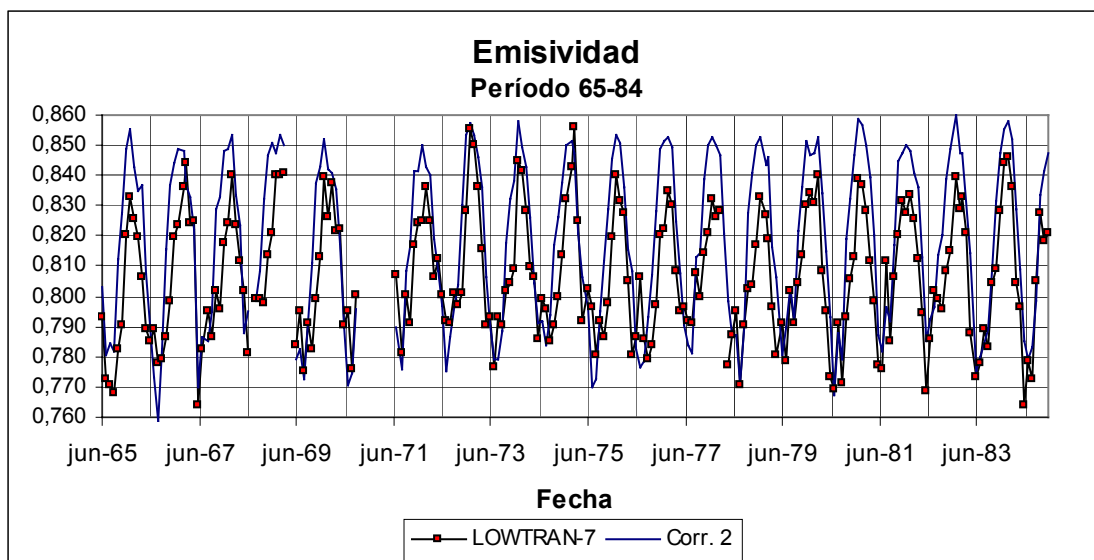


Figura 2: Emisividad calculada para el período 1965/1984.

La figura 3 da las diferencias porcentuales referidas a la Correlación 2 de lo obtenido con el programa LOWTRAN.

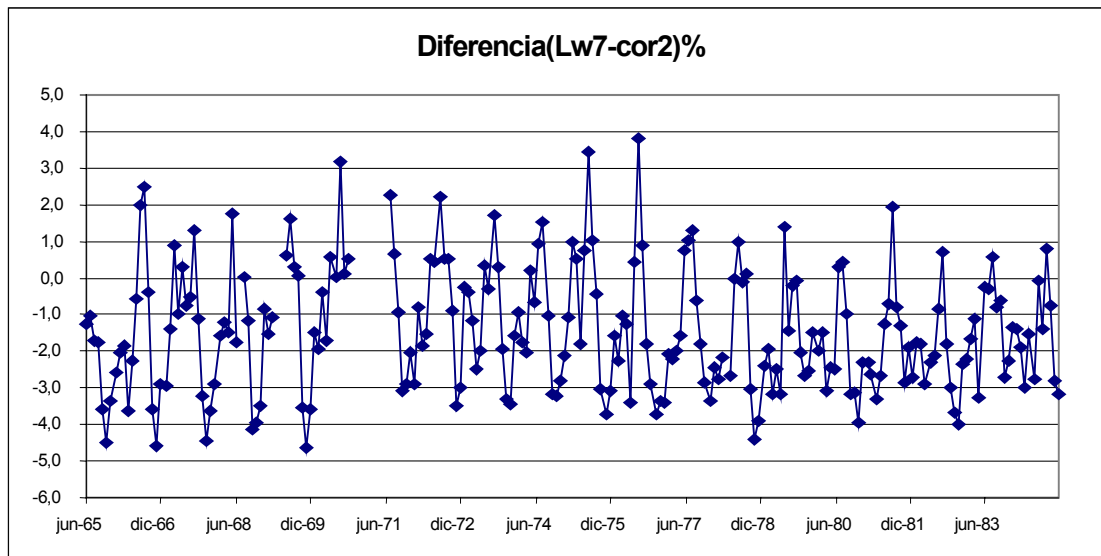


Figura 3: Diferencias de emisividad predichas con LOWTRAN-7 referidas a la Correlación 2. Modelo usado: Rural con 23 km de visibilidad.

Las diferencias se mantienen cerca del 2 % en los meses secos salvo para julio de 1975 y julio de 1976 que alcanzan casi el 4 %. Para los meses húmedos en general la diferencia está dentro del -3% y los meses de noviembre y diciembre cercanos a -4 %, salvo en los primeros años que se acercan a -5 %.

Se repitieron los cálculos usando una visibilidad de 5 km y continuando con el modelo rural, observándose un mejor acuerdo en los meses húmedos y un desmejoramiento en los meses secos. Finalmente, para representar mejor las emisividades esperadas, dadas por la correlación 2, se usaron los cálculos con 5 km de visibilidad para los meses húmedos (incluyendo octubre hasta abril) y 23 km de visibilidad de junio a setiembre. A este cálculo se lo llamó modelo combinado.

Las diferencias del cálculo realizado con LOWTRAN respecto de la correlación 2 se dan en la figura 4.

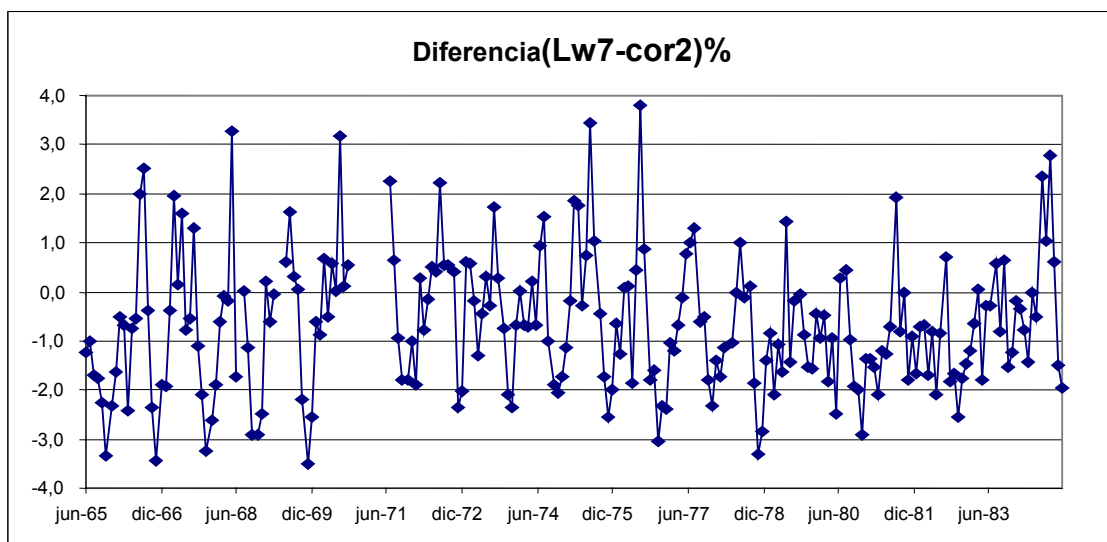


Figura 4. Diferencias de emisividad predichas con LOWTRAN-7 referidas a la Correlación 2. Modelo usado: Rural – Combinación de visibilidades.

Los resultados dibujados muestran que la combinación es efectiva para representar las distintas épocas del año. Las diferencias más notables se producen en los meses de julio, noviembre y diciembre. Se ha probado con el modelo “urbano” especialmente en esos meses sin conseguir ninguna mejora. Por lo tanto, se puede concluir que la mejor modelización se consigue con el modelo “Rural”, usando una visibilidad de 5 km en los meses de octubre a abril y de 23 km en los meses de junio a setiembre. El mes de mayo es muy variable según el año, pudiéndose usar una u otra visibilidad. Las diferencias observadas entre los cálculos es de  $\pm 4$  %.

## PROMEDIO DE TODOS LOS DATOS DISPONIBLES. CÁLCULO Y RESULTADOS.

Para complementar estos cálculos, se realizó un promedio mensual de todos los datos disponibles para las dos horas de medidas: 0 y 12 hs. TMG. Luego se obtuvieron las emisividades usando LOWTRAN y las correlaciones 2 y de Martin y Berdahl. Los resultados para las 0 hs. TMG se visualizan en la figura 5.

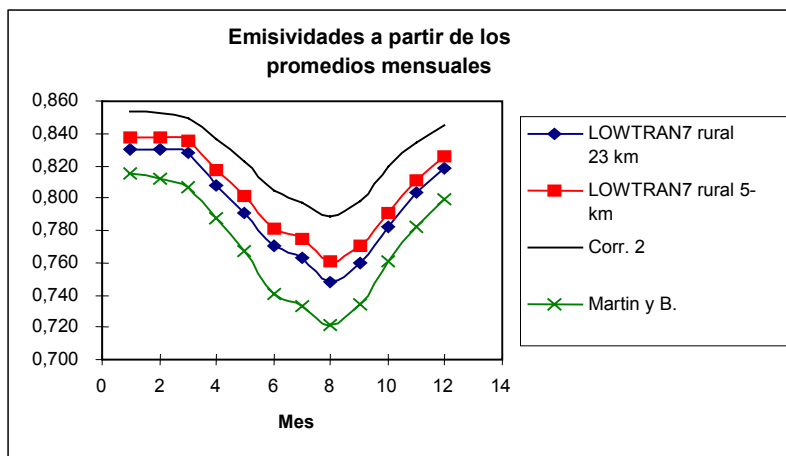


Figura 5: Comparación de resultados obtenidos a partir de los promedios generales para las 0 hs. TMG.

La figura 5 muestra que los resultados obtenidos con LOWTRAN para esta hora se encuentran por debajo de la correlación en todo momento. La diferencia en forma gráfica se da en la figura 6.

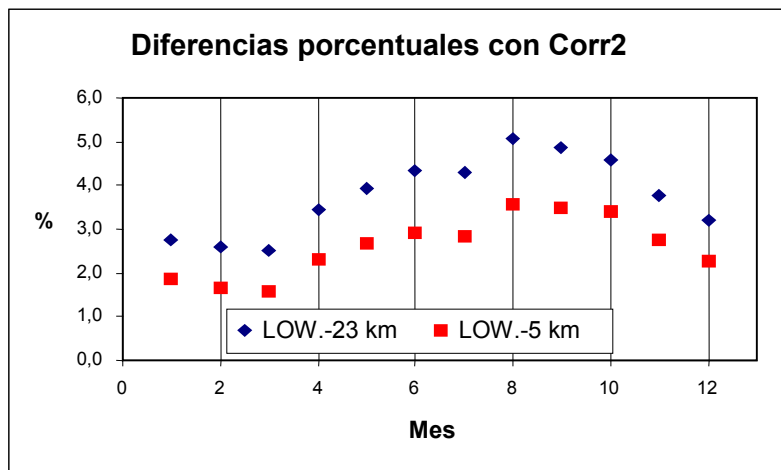


Figura 6: Diferencias de emisividad predichas con LOWTRAN-7 (visibilidades: 23 km y 5 km ) respecto de la correlación 2 a las 0 hs. TMG.

Las figuras 7 y 8 dan el resultado correspondiente a las 12 hs. TMG, usando el modelo con combinación de visibilidades.

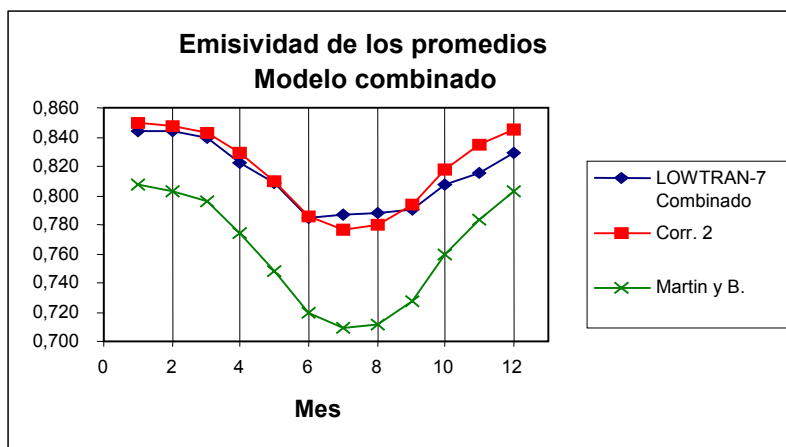


Figura 7. Modelo con combinación de visibilidades para las 12 hs. TMG.

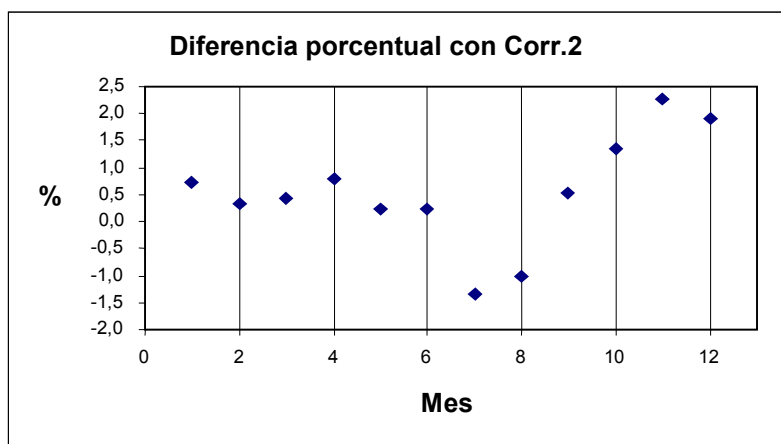


Figura 8. Diferencia porcentual de la combinación para las 12 hs. TMG.

La combinación de modelos para las 12 TMG se ajusta dentro del 2 % a la correlación 2 salvo para noviembre cuya diferencia es del orden del 2,3 %.

### CONCLUSIONES.

- Los cálculos para el promedio de datos disponibles no dan resultados diferentes de los encontrados para los promedios anuales.
- Las características encontradas para las 12 hs TMG indican que el modelo combinado es el más aconsejable para realizar un cálculo de emisividad a esta hora. Las diferencias con un cálculo realizado con la correlación 2 difieren en menos del 3 % en el peor de los casos (noviembre).
- Para las 0 hs TMG es preferible usar el modelo de 5 km de visibilidad a lo largo de todo el año. En este caso las diferencias son del orden del 4 %.
- Los resultados obtenidos con el modelo más elaborado que significa usar LOWTRAN avalan la correlación hallada al no encontrarse para ningún modelo diferencias mayores al 5 %.
- Se debe justificar más estos resultados con medidas simultáneas de emisividad y globo sondeo, las cuáles están suspendidas en este momento en el S.M.N..

### REFERENCIAS

- Berdahl, P., Martin, M. (1984). *Summary of results from the spectral and angular sky radiation measurement program*. Solar Energy, **33**, 241 - 252.
- Berdahl, P., Martin, M. (1984). *Characteristic of infrared sky radiation in the United States*. Solar Energy, vol. **33**, 321 - 326.
- Frigerio E., Saravia L., (1986). *Estudio de la Radiación Nocturna como Fuente Fría. Primeros Cálculos*. Actas ASADES 86, pp 113 - 124.
- Frigerio, E. (1997). *Comparaciones en la evaluación de la radiación de cielo*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 1, N° 1, pp 197-200.
- Frigerio, E. (2000). *Emisividad En El N.O.A. Dependencia Con La Altura*. Presentado en ASADES'2000.
- Kneizys F.X., Shettle E.P., Gallery W.O., Chetwynd Jr. J.H., Abreu L.W., Selby J.E.A., Fenn R.W., McClatchey R.A.. (1980) *Atmospheric Transmittance/Radiance: Computer code LOWTRAN5*. AFGL-TR-80-0067, Air Force Geophysics Laboratory, Bedford, Mass
- Kneizys F.X., Shettle E.P., Gallery W.O., Chetwynd Jr. J.H., Abreu L.W., Selby J.E.A., Anderson G.P, Clough S. A.. (1988) *Users Guide to LOWTRAN 7*. AFGL-TR-88-0177, Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, Mass

### ABSTRACT

A model for the sky emissivity of the zone was intended making use of the atmospherics profiles measured in the Salta station of the Servicio Meteorológico Nacional. This data were treated in two manners: with a correlation of the emissivity in function of dew-point temperature that was find for Salta and with the use of the computer code LOWTRAN 7, which makes a radiative balance in the atmosphere. Various models were probed and they results were compared with the obtained with the correlation, taking the last as reference. The best models obtained have a maxomun difference with the correlation of  $\pm 4$  %.